負荷電流検出帰還方式

STK020
（サンヨー製ハイブリッドIC）による定電流アンプの製作

山崎 浩

定電流アンプの躍動感あふれる再生音は定電圧アンプでは得られないと実感します．メーカー製パワー・アンプのほとんどが定電圧アンプで，定電流アンプをじっくり体験するには自作せざるを得ません．しかしながら，初期の本誌製作記事によるウィルソン・ミラー形定電流アンプ（1999年9月号），正帰還に基づくニュートロダイン方式定電流アンプ（2005年1月号）のいずれも微妙な調整を必要とされるなど自作の敷居は高いと感じます．以来，コピーは尻込みしましたが，定電流化の方式を変更し検討製作してきました．

私が2005年4月以来製作した19例の定電流アンプは，いずれも出力素子（パワーまたは5極管）の出力インピーダンスが極めて高いことを利用した無帰還アンプで作りやすく，再現性は良好です．ただし，出力段がA級動作でかなり発熱します．定電圧アンプとして設計された既存のパワーICを用い，発熱処理を軽減した定電流アンプを検討しましたので報告させていただきます．

負荷電流検出帰還方式とは

負荷電流検出帰還方式は負荷インピーダンスが変化しても負荷電流が一定になるようトータル負帰還を掛ける方式の定電流アンプです．前出ウィルソン・ミラー形（あえて分類すれば局部電流帰還に相当）や無帰還方式の定電流アンプには負荷電流を検出する仕組みはありません．ニュートロダイン方式定電流アンプは負荷電流検出機能を具えていますが，（回路図的には簡単そうに見えても）負荷インピーダンス変動に影響されつつ正帰還を最適化する高度な回路技術を要します．

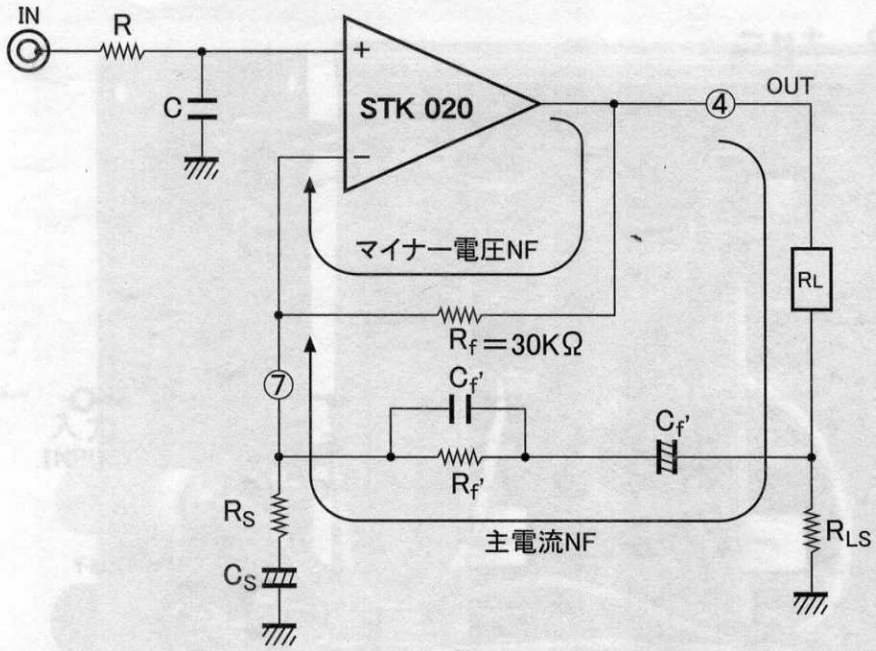
約40年前，私がハイブリッドICの設計を職務とした時期，上司の佐藤武久氏が負荷電流検出帰還方式を検討していました．当時，定電圧アンプと対比しつつ定電流アンプとして評価する状況はなく，商品化には到りませんでした．当時の私の認識は以下の通りです．

1. 負荷短絡に強い
2. 低音がよく出る
3. 負荷開放時に過大な出力電圧が出る
4. 概念の異なる方式は業界が受け入れない

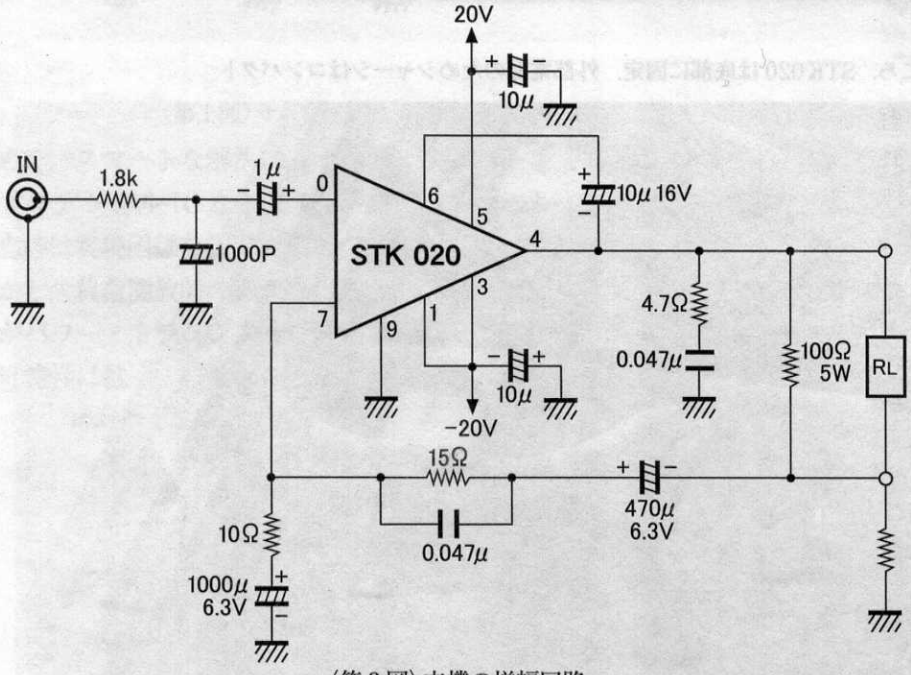
1，2はメリット，3，4はデメリットです．

第1項目の負荷短絡とはスピーカ・ケーブルの誤配線による出力端子が短絡されることで，出力トランジスタが破壊しないことはメーカー製品として必須条件です．負荷電流検出帰還方式は過負荷時にパワー・トランジスタ（BJT）が2次降伏で破壊しやすい弱点をカバーする手法として注目されました．第2項目の低音がよく出ることは些細な事柄でした．

第3項目は負帰還が解除されるた



〈第2図〉負帰還系の構成



〈第3図〉本機の増幅回路

転し，3重拡散NPN形パワー・トランジスタ2SC931のSEPPからスピーカに電力を供給します．わずかな外付け回路によって，電源電圧±16V時に無ひずみ最大出力10Wの標準的な定電圧アンプが出来上がります．**第1表**に絶対最大定格，動作特性を示します．

定電流アンプに変更する仕組みは負荷電流検出負帰還によります．本アンプは以下の特性を狙います．

・20Hz～30kHzにおける8Ω負荷時の電圧利得はフラット
・出力インピーダンスは200Ω以上
・常用出力での最小歪率は0.1%以下，無ひずみ最大出力は15W

サンヨーSTKシリーズは中点電圧とアイドリング電流は内部で調整済みです．出力端子から初段への負帰還抵抗がIC内部（④−⑦間）にスクリーン印刷されていますが，この負帰還抵抗が外付けの負帰還系を制約します．オリジナル（定電圧アンプ）の負帰還はRfとRsで構成され，内蔵される固定抵抗Rf＝30kΩに対し外付け抵抗Rsが推奨値680Ωの場合，電圧利得は20log（30k/680）＝32.9dBです．

パッケージの一部を剥ぎ，この負帰還抵抗を除去[*3]したいところですが，印刷抵抗をカッターナイフで断線させる際にICを破損する可能性があります．よって，IC内部を加工せず，外付け定数の選択でICに内蔵される負帰還抵抗の機能を極力弱めます．本アンプの負帰還系の構成を**第2図**に示します．

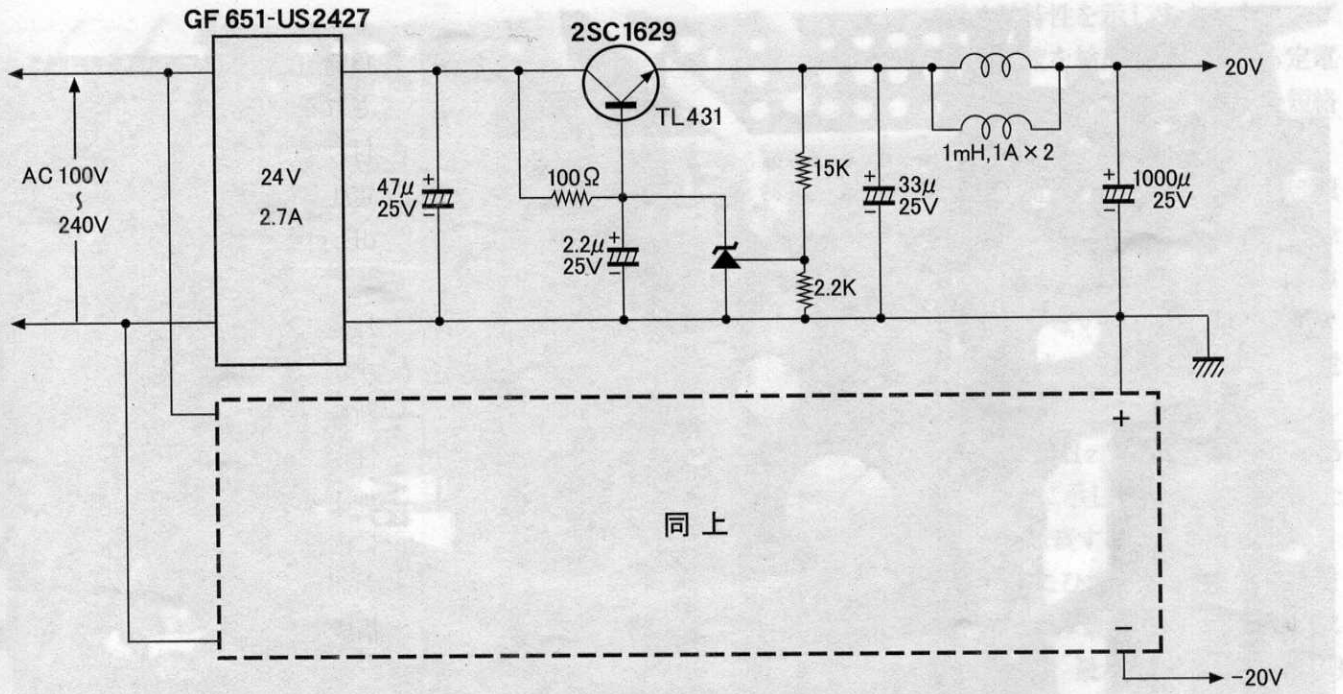
本アンプは負荷抵抗RLと負荷電流検出抵抗RLSとの分圧比で得た電流信号を，外付け帰還抵抗Rf'から反転入力に与えて主負帰還系を構成します．負荷にそのインピーダンスが変化しても，常に入力電圧に比例する出力電流を供給します．

始めに，Rf＝30kΩを踏まえRs＝10Ωとして帰還率を下げ，内蔵する負帰還系（マイナー負帰還系）を無効にします．よって，中域での電圧利得VGは外付けのRf'，負荷抵抗RLおよびRLSから

$$VG = [(Rf+Rs)/Rs] \times (RL+RLS)/RLS \quad (1)$$

RL＝8ΩからRLS＝1Ωとすれば，VG＝20dB，30dBとするRf'はそれぞれ1.1Ω，23Ωです．

増幅回路を**第3図**に示します．Rf'＝15Ωの場合，(1)式から電圧利得はVG＝27.04dBが見込めます．Rs，RLSを低抵抗に選ぶと，低域特性を伸ばすために直列に大容量コンデンサが必要になりますが，低耐圧なので形状は小さくて済みます．低域をフラットにするため，Rs+Cs，Rf'+Cf'の時定数を揃えるべきでしょう．Rf'と並列の位相補正コンデンサCf''は入力のRCフィルタと共に



〈第4図〉本機の電源回路

高域をフラットにします．Cf''および入力のRCフィルタがない場合，200k～300kHzに約10dBのブロードなピークが生じます．

*2 STKシリーズ最初の2電源用ICで上杉佳朗氏から性能および音質の良さを絶賛されました．私は初段に定電流ICを内蔵させたSTK020Mを担当しました．

*3 PNP入力形のパワー・オペアンプと概略同じ回路構成になります．

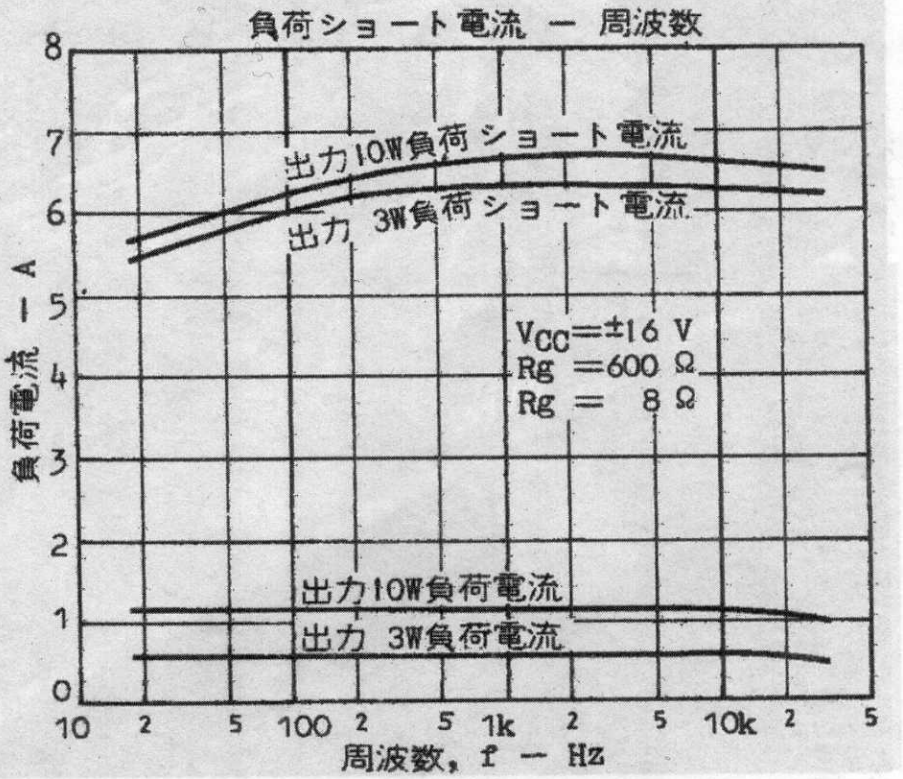
電源回路

STK020の絶対最大定格±22Vは電源トランスのレギュレーション，ACライン電圧変動を考慮した値であり，発熱や負荷短絡を保証する推奨電源電圧は±16Vです．

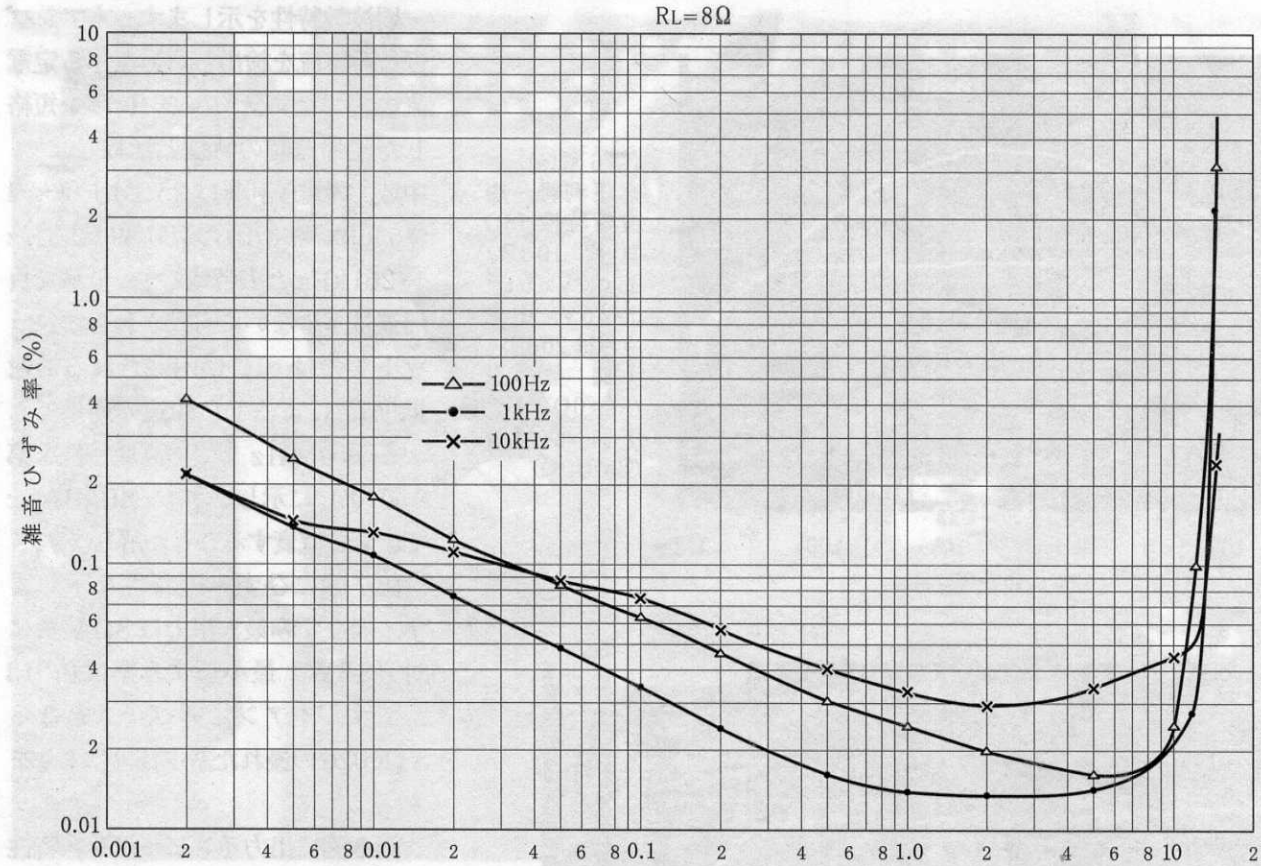
第5図に負荷短絡電流－周波数特性を示します．この特性はヒューズの電流容量を決定するために必要で，パワーICメーカーにおける重要な特性*4ですが，実際には電源トランスの電流容量で制限されるので，6Aもの電流は流れないでしょう．素子の電流容量の目安にはなりますが，アンプの音質への影響は考慮されません．メーカーの技術者は，(明らかなユーザーの不注意の場合でも) パワー・トランジスタが破損しないことを音質より上位に置きます．壊れ難くするためには無意識に音質を犠牲にします．音質を最優先するアマチュアの特権はメーカーの技術者には存在しないのです．

第4図に電源回路を示します．2台のACアダプタGF651-US2427 (秋月電子通商扱い，単価1700円) は入力AC100～240Vのユニバーサル仕様で出力にDC24V，2.7Aが得られるスイッチング電源です．出力にシリーズ・レギュレータで±20Vに降圧し，かつ高周波ノイズ対策としてLCフィルタを付加します．

STK020の推奨電圧±16Vより



〈第5図〉負荷短絡電流－周波数特性(第1図の推奨回路において)

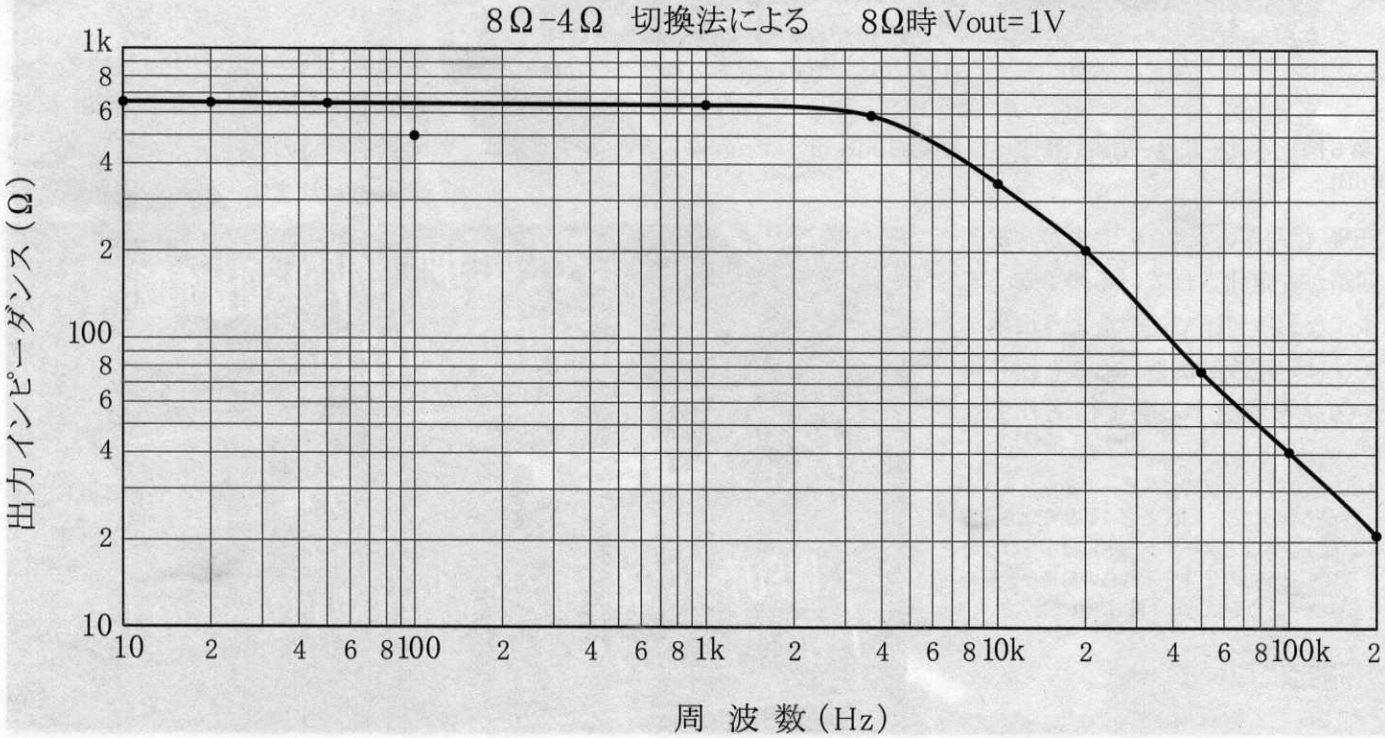


〈第7図〉本機のひずみ率特性

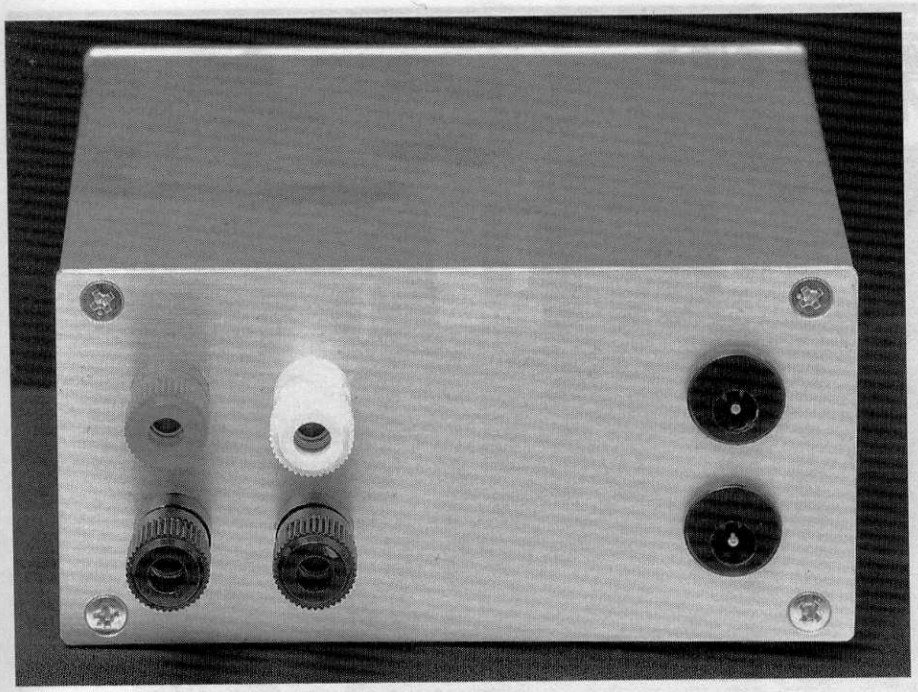
言えそうですが，10Hzまでフラットなのは本来の無帰還時電圧利得－周波数特性がDCに向かいフラットであることを意味します．

試聴と反省

定電流化の方式が異なる本アンプと，先に製作したパワーMOS-FETのSRPP形無帰還方式の定電流アンプ（2009年1月号），私の基準アンプ武末数馬氏設計801A並列シングルのコピー（1996年2月号）とによる比較試聴結果は**第2表**の通りです．素子および回路構成は全く異なり，電



〈第8図〉本機の出力インピーダンス特性



◆リアパネル

気的特性も差はありますが，比較試聴の許容範囲でしょう．ソースは日本オーディオ協会製作のCD「IMPACT-2」，スピーカは'10年11月13日の音の展覧会で使用した口径8cmのSA/F80AMG（球形バスレフBOX，2009年1月号）を用いました．

出力インピーダンスから予想される本アンプの音色がパワーMOS-FETのSRPP形より（2桁も小さい）801A並列シングルに近いことは意外です．出力インピーダンスの大きさだけで定電流アンプの音色を云々することは無理なようです．本アンプが無帰還形定電流アンプ（パワーMOS-FETのSRPP形など），正帰還形（ニュートロダイン方式）定電流アンプの躍動的で前に出る音色と異なる原因を調べる必要がありそうです．

負荷電流を検出し負帰還する機能はMFBに似ています（現時点ではMFBとして扱われませんが）．私はパワー・アンプにおける負帰還が聴感に与える効果に疑問を持っています．水準に仕上げた無帰還アンプは高性能な負帰還式（定電圧アンプ）との瞬時切換え試聴において明確な差がある，すなわち無帰還アンプが優位にあることを体験してきました．

本アンプは負荷電流を検出する方式の負帰還アンプであって，アンプ単体における負帰還とはコンセプトが異なります．負荷電流検出方式の定電流アンプは，スピーカ制御における負帰還すなわちMFBと比較しつつ評価検討する必要がありそうです．

801Aに類した音質に満足?!

801A並列シングルの明るく華やかな音色が，馴染みのあるパワーIC STK020*6から得られたことは嬉しくも複雑な思いです．増幅部にパワーICと電源部にACアダプタを使用する本アンプの製作は簡単で十分な性能を示します．音色に対する評価はともかく，定電流アンプに興味があるマニアの方々の参考になれば幸いです．

*6 STK020をユニットとする2ch，3ch切換え式マルチ・チャンネル・アンプは私の現役アンプで，high・chは自作のイオン・ツィター用です．

	本アンプ	パワーMOS SRPP形	801A並列シングル
出力素子	NPN形BJT	Nch形MOSFET	3極真空管
電圧ゲイン	25.1db	28.2dB	28.1dB
周波数帯域幅	2.3Hz～261kHz	2.5Hz～31kHz	10Hz～30kHz
無ひずみ最大出力	15W	10W	12W
最小ひずみ率	0.013%	0.14%	0.085%
出力ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽ*5	663－663－218Ω	496－300－15Ω	3.4－4－4Ω
ピアノ	おとなしい	透き通る メリハリ明確	おとなしい やや引っ込む
ドラムセット	歯切れ良	同左	同左
フルート	生々しい	同左	同左
トランペット	輝かしい	ややうるさい	本アンプに同じ
弦	自然	低音に迫力あり	自然
女性 ボーカル	自然	生々しい	本アンプに同じ

*5 20－1k－20kHz

〈第2表〉試聴結果